

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 8D07103 – Электротехнические комплексы и системы

**Курабаев Искандер Казбекович**

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Диссертационная работа посвящена вопросам повышения эффективности системы электроснабжения горных предприятий.

#### **Актуальность работы.**

Современная горная промышленность сталкивается с рядом вызовов, связанных с эффективностью и безопасностью. Интенсификация производственных процессов ведёт к увеличению количества горных работ и повышению требований к их качеству и скорости выполнения. В этом контексте внедрение эффективных и безопасных практик, таких как использование новейших технологий добычи и мониторинга состояния оборудования, становится важным фактором для повышения эффективности и безопасности горных работ. Эффективность системы электроснабжения определяется её способностью обеспечивать потребности в электроэнергии с минимальными затратами на передачу и распределение. Для достижения эффективности системы, необходимо учитывать такие факторы, как надёжность, стабильность, гибкость, экономическую эффективность и другие.

Эффективность системы электроснабжения напрямую зависит от надёжности и безопасности электрических сетей, включая сети напряжением до 1000 В, эти сети являются неотъемлемой частью электроснабжения и их надёжное функционирование необходимо для устойчивого развития электроэнергетики. Регулярное обслуживание трёхфазных электрических сетей и соблюдение высоких стандартов безопасности гарантируют увеличение уровня электробезопасности и надёжности электрических сетей, тем самым улучшая эффективность системы электроснабжения. Недостаточное обслуживание электрических сетей может привести к возникновению аварий, простоев и других проблем, что в свою очередь может привести к снижению эффективности системы электроснабжения. Простой оборудования может значительно снизить эффективность добычи минералов и других ресурсов, а также привести к дополнительным затратам на ремонт или замену вышедшего из строя оборудования. В результате компания может понести убытки и ограничить свои возможности для дальнейшего развития.

На основе вышеизложенного исследования разработка методов определения параметров изоляции, оценка состояния изоляции и устройств защиты являются важными аспектами эксплуатации электрических сетей, особенно в контексте повышения их эффективности и надёжности. Постоянный мониторинг и анализ состояния изоляции, помогут предотвратить аварии и

обеспечить бесперебойную работу электрических сетей, таким образом повышает уровень электробезопасности и эффективности системы электроснабжения в целом.

**Связь темы диссертации с государственными программами и планом работы университета.** Работа выполнялась в НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина» в соответствии с бюджетной программой 217 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограммы 102 «Грантовое финансирование научных исследований» по теме AP05132692 «Разработка инновационных технологий повышения эффективности электроснабжения электроприемников напряжением до 1000 В горных предприятий».

**Объектом исследования** являются трёхфазные электрические сети с изолированной нейтралью напряжением до и выше 1000 В.

**Предметом исследования** является определение параметров изоляции, тока однофазного замыкания на землю, тока утечки и напряжения прикосновения в электрических сетях с изолированной нейтралью.

**Цель работы** – повышение эффективности электроснабжения горных предприятий путём разработки методов определения параметров изоляции, тока однофазного замыкания на землю, тока утечки и напряжения прикосновения в электрических сетях с изолированной нейтралью.

**Идея работы.** Повышение эффективности электроснабжения горных предприятий путём разработки методов определения параметров изоляции, тока однофазного замыкания на землю, тока утечки и напряжения прикосновения в электрических сетях с изолированной нейтралью, на основе применения закономерностей изменения напряжений при искусственном смещении нейтрали.

**Для достижения цели** были поставлены следующие научные задачи:

– разработать математические зависимости определения параметров изоляции в несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью;

– разработать методы определения параметров изоляции, токов утечки, однофазного замыкания на землю и напряжения прикосновения в несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью;

– провести численное экспериментальное исследование предлагаемого метода определения параметров изоляции сети с целью сравнительного анализа результатов;

– провести численное экспериментальное исследование разработанных методов определения параметров изоляции, тока однофазного замыкания на землю, тока утечки и напряжения прикосновения в действующих электрических сетях с изолированной нейтралью горных предприятий;

– разработать средства повышения эффективности системы электроснабжения горных предприятий.

**Научная новизна:**

– установление математических зависимостей для определения параметров изоляции, токов однофазного замыкания на землю, тока утечки и

напряжения прикосновения в трёхфазной электрической сети на основе измерения величин модулей напряжения нулевой последовательности, напряжения фазы относительно земли и их векторных углов, отличием которых является учёт несимметричных напряжений фаз и их симметричных составляющих;

- разработка методов определения параметров изоляции, токов однофазного замыкания на землю, тока утечки и напряжения прикосновения в трёхфазной электрической сети, которые позволяют определять параметры изоляции сетей горных предприятий с погрешностью не более 10%;

- впервые получены числовые значения параметров изоляции в электрической сети напряжением до 1000 В на роторном экскаваторе СРс(К)–2000 с применением разработанных методов.

#### **Практическая значимость:**

- разработка эффективных методик определения параметров изоляции, токов однофазного замыкания на землю, тока утечки и напряжения прикосновения в трёхфазной электрической сети с изолированной нейтралью;

- предложенные методики применимы при эксплуатации электрических сетей с изолированной нейтралью под рабочим напряжением путём регулярного мониторинга и анализа состояния изоляции, которые повышают уровень электробезопасности и эффективности системы электроснабжения в целом;

- полученные в работе аналитические зависимости фазных напряжений и параметров изоляции имеют универсальный характер и могут быть применены в электрических сетях с изолированной нейтралью других отраслей промышленности.

**Методика выполнения работы.** При разработке методов определения параметров изоляции сети, тока однофазного замыкания на землю и напряжения прикосновения в трёхфазных электрических сетях с изолированной нейтралью использовались: методы симметричных составляющих; теории ошибок; теоретических основ электротехники; математической статистики и теории вероятностей, программное обеспечение Maple, язык программирования Python с библиотеками Numpy, Scipy и Matplotlib.

#### **Основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:**

1. математическое описание определения параметров изоляции в трёхфазной несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью на основе применения закономерностей изменения напряжений при искусственном смещении нейтрали;

2. методы определения параметров изоляции, токов однофазного замыкания на землю, тока утечки, и напряжения прикосновения в трёхфазной электрической сети, основано на измерении величин модулей напряжения нулевой последовательности, напряжений фаз и их векторных углов, до и после подключения ёмкостной дополнительной проводимости между фазой электрической сети и землёй с учётом несимметричных напряжений фаз и их симметричных составляющих;

3. оценка электробезопасности горных предприятиях базируется на новых экспериментальных данных показателей параметров изоляции в электрических сетях с изолированной нейтралью с учётом разработанных методов;

4. средства повышения эффективности системы электроснабжения путём повышения чувствительности устройства защитного отключения, основанные на комплексном анализе результатов экспериментальных исследований, проведённых в условиях реального функционирования системы электроснабжения горного предприятия.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:** учётом важных процессов, принятием адекватных уровней допущений для математического моделирования явлений, базированием исходных посылок на фундаментальных законах естественных наук и основах теории электрических цепей, сопоставлением качественных параметров результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, полученными в действующих сетях, а также наличием достаточного объёма и результатов экспериментальных исследований.

**Реализация результатов работы в промышленности.** Методика определения параметров изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью, основанная на измерении величин модулей напряжения нулевой последовательности, напряжения фазы относительно земли и их векторных углов, после подключения ёмкостной дополнительной проводимости между фазой электрической сети и землёй внедрена в научно-образовательный процесс Навоийского государственного горного и технологического университета, а также в технологический процесс горного предприятия ТОО «Богатырь Комир».

**Объём работы.** Диссертация состоит из введения, основной части из четырёх разделов, заключения. Объём диссертации составляет 94 страницах машинописного текста, содержит 7 таблиц, 32 рисунка, список использованных источников, включающий 64 наименований, 2 приложения.

#### **Содержание работы.**

Во введении обоснована актуальность принятой в научную разработку проблемы и сформулированы цель и идея работы, представлены основные защищаемые научные положения, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены сведения о реализации результатов работы, ее апробации и количестве публикаций.

В первой главе изложено состояние вопроса и проведён обзор литературных источников, посвящённых исследованию состояния изоляции в электрических сетях с изолированной нейтралью. Приведён обзор и анализ существующих методов контроля изоляции и устройств защитного отключения, сформулированы цели и задачи исследования. На основании проведённых исследований и анализа публикаций, как в нашей стране, так и за рубежом, выявлено, что разработка новых методов определения параметров изоляции сети является важной задачей, поскольку она способствует повышению уровня электробезопасности и обеспечению бесперебойности системы электроснабжения предприятий.

Во второй главе разработаны методы определения параметров изоляции в несимметричной сети с изолированной нейтралью напряжением до и выше 1000 В с помощью полученных новых математических зависимостей. В разработанном методе определения параметров изоляции в трёхфазной несимметричной сети с изолированной нейтралью напряжением до и выше 1000 В на основе измерения величин модулей напряжения нулевой последовательности, напряжения фазы относительно земли и их векторных углов, до и после подключения ёмкостной дополнительной проводимости между фазой А электрической сети и землёй, вычисляются параметры изоляции сети с учётом величины вводимой ёмкостной дополнительной проводимости. Предложенный метод позволяет с достаточной точностью и простотой определить параметры изоляции в несимметричной трёхфазной сети с изолированной нейтралью.

Выполнены численные экспериментальные исследования разработанного метода и проведён сравнительный анализ результатов, где относительная погрешность составила не более 10%. Проведённый анализ погрешности показал, что разработанный метод обладает достаточно высокой точностью, а также имеют преимущество в проведении измерений.

В третьей главе исследованы и разработаны методы определения тока утечки, тока однофазного замыкания на землю и напряжения прикосновения в несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью. Проведён анализ погрешности при косвенном измерении фазного напряжения, напряжения нулевой последовательности, а также их векторных углов до и после подключения дополнительной проводимости, который показал удовлетворительную точность.

В четвертой главе рассмотрены как разработанные методы на действующих экскаваторах, так и их анализ полученных результатов измерения. Апробация разработанных методов на действующих электроустановках предприятия ТОО «Богатырь Комир», позволила получить численные показатели параметров изоляции, тока однофазного замыкания на землю в несимметричной трёхфазной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В на экскаваторе ЭКГ-5 и роторном экскаваторе СРс(К) - 2000 анализ результатов которых, несрабатывание действующих устройств защитного отключения типа УАКИ-380, РУ-127/220 выявил недостаток и в связи с чем, разработаны средства повышения эффективности работы этих устройств.

В заключении приведены результаты исследований.

**Апробация работы.** Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной конференции по электрическим, компьютерным и энергетическим технологиям ICESSET-2022.

**Основные научные результаты** диссертации опубликованы в 4 научных трудах, в том числе 1 публикация, входящие в информационную базу Scopus (перцентиль – 83) и 2 публикации в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК. Получены Евразийский патент на изобретение №041128 от 16.09.2022 г. и патент Республики Казахстан на изобретение №35922 от 21.10.2022 г.